

## 博士論文概要書

# 再構成超解像における高解像度能力の理論的境界と主観映像評価による検証の研究 -Study of Limitation of Super Resolution Image Reconstruction and Image Quality Assessment of Displays with Super Resolution-

工学院大学大学院 工学研究科  
情報学専攻 博士後期課程 森 千夏

### 第1章 背景と目的

画像や映像の研究の歴史は高解像度化の歴史でもある。テレビやスマートフォンで映像視聴を楽しむにあたり、映像の品質は重要である。特に解像度は映像の品質を示す指標の一つとされてきた。テレビディスプレイの解像度はアナログ(640×480)からハイビジョン(1920×1080)、そして4K(3840×2160)/8K(7680×4320)と変化している。高解像度ディスプレイのブームはスマートフォンでも同様である。高解像度化を実現するためには、撮像デバイス、記録、伝送、表示の全システムの開発が必要である。現在、4Kディスプレイを搭載するテレビ、スマートフォンが購入可能であるが、現状では4Kのコンテンツは不足している。既存のハイビジョンのコンテンツを4Kディスプレイに出力するには拡大が必要であるが、画像や映像は拡大することでボケが発生する。

今世紀に入ってから、記録済みの低解像度の映像を信号処理で高解像度化する技術の研究が盛んになった。この技術は超解像と呼ばれ、様々な手法が提案されている。再構成超解像は最も多くの研究成果が報告されてきた手法であり、新たな拘束条件の提案で、毎年性能が向上している。しかし、再構成超解像が成立する条件や高解像度化の限界といった根本的な研究は行われてこなかった。再構成超解像は現在テレビディスプレイで実用化されているが、再構成超解像を搭載したテレビに解像度向上効果が存在するかは不明である。

再構成超解像の他に学習型超解像、非線形超解像が提案され、テレビやスマートフォンで実用化されている。消費者がテレビやスマートフォンを購入する際、より高画質な製品を欲しいと考えている。しかし、現状では超解像を搭載したディスプレイの画質性能を評価する方法が存在せず、超解像により解像度向上効果があるか、他の製品と比較して優れているか、消費者は判断できない。

本研究では、これまでに最も多くの研究成果が報告されている再構成超解像のアルゴリズムの解析を行い、理論的な境界を示す。理論により証明した結果を実証するために再構成超解像を実装したテレビの画質評価を行う。評価を行うために新たな評価方法を提案する。超解像を搭載したテレビ・スマートフォンディスプレイの主観評価実験により、提案手法の有効性を実証する。

## 第2章 再構成超解像の理論解析

再構成超解像は、複数枚の低解像度画像から 1 枚の高解像度画像を生成する手法であるが、高解像度画像の生成にはいくつかの条件がある。条件のひとつに低解像度画像にエリアシングが含まれることがある。エリアシングはサンプリング定理を満たさない低いレートでサンプリングをした際に発生する、デジタル画像特有のアーティファクトである。銀塩フィルムで撮影されたアナログ画像にエリアシングは発生しないが、デジタル撮像デバイスでは撮像によって A/D 変換が行われ、画像にエリアシングが発生する。撮像によるエリアシングは、撮像デバイスの開口率の性能に依存して発生し、デジタルカメラ導入当初は多くのエリアシング画像が存在していた。しかし、近年では撮像デバイスの性能が改善され、撮像によるエリアシングは減少している。このことから、現在では再構成超解像の応用範囲は制限されている。本章にてエリアシングと撮像デバイスの関係性について理論的に解析し、再構成超解像の高解像度能力の限界を示す。

## 第3章 複数のディスプレイを用いた画質の主観評価法

画質の評価方法には客観評価と主観評価の 2 つの手法がある。従来の超解像の評価には PSNR などの客観評価が多く用いられるが、市販のディスプレイからは内部処理された信号を出力・解析できない。このため、ディスプレイに内蔵される超解像の性能評価に客観評価は適用できず、主観評価によって評価することが唯一の方法である。

映像品質の代表的な主観評価法に ITU 規定の評価法があり、ITU-R BT.500 ではテレビ映像の主観評価法が勧告され、世界で広く使われている。ITU-TP.910、P.912、ITU-R BT.1788 では、BT.500 をベースにマルチアプリケーション映像、監視映像、PC、モバイル環境などに対応した評価方法が勧告されている。しかし、ITU で規定される全ての主観評価法は符号化による画質劣化の影響を測定するための手法であり、アルゴリズムの異なる技術を搭載したディスプレイそのものの性能評価には適さない。現在では複数のディスプレイの評価を前提とした標準的な主観評価方法が存在しない。本章で複数のディスプレイを用いた画質の主観評価方法を提案し、提案手法について解説する。

## 第4章 再構成超解像搭載ディスプレイの主観評価

現在、実用化されている超解像には再構成超解像、非線形超解像、学習型超解像がある。現在、再構成超解像は 4K テレビに応用されている。非線形超解像は本研究室で考案した超解像手法であり、4K、8K ディスプレイ向けのハードウェアおよびスマートフォンに実用化されている。学習型超解像はデータベースを利用した超解像の手法であり、テレビ・スマートフォンで応用された。

これまで、超解像の性能の検証はコンピュータシミュレーションにより行われ、実際に超解像を搭載したテレビ上でコンテンツの画質が向上する明確な根拠は示されていない。関連研究では学習型超解像を搭載したテレビの画質性能が報告されている。一方、非線形

超解像・再構成超解像を搭載するテレビディスプレイの性能および各超解像手法による画質性能の差異は未検証である。

本章では 3 章で提案した主観評価法を応用し、再構成超解像および非線形超解像を搭載するディスプレイの画質性能を評価する。2 章で述べた再構成超解像の限界について、実験により証明する。

## 第5章 4K 映像の主観評価と非線形超解像による解像度向上

超解像は本来、フルハイビジョンから 4K といった信号の拡大変換によって生じる拡大倍率を低減する目的で研究されており、一部の超解像の手法では入力と出力の解像度が同一の場合には処理が適用不可能である。非線形超解像は入力と出力が同一の場合も超解像処理を適用可能である。しかし、入出力の解像度が同一の場合でも解像度向上効果が存在するか、実際にディスプレイ上での画質性能は検証されておらず、評価が必要である。5 章では、非線形超解像を 4K ディスプレイに適用し、4K 映像を表示した際の性能を検証する。

## 第6章 超解像搭載スマートフォンディスプレイの主観評価

非線形超解像は単純なアルゴリズムで構成されており、スマートフォン端末にも実装可能である。2015 年には非線形超解像搭載スマートフォンが発売された。しかし、スマートフォンはテレビと比較して画面が小さく、人間の目で解像度の違いが視認できるかどうかは不明である。実際に非線形超解像によりスマートフォンディスプレイの解像度が向上可能か、仕様の異なるスマートフォンと比較して解像度の画質が優れているか、検証されていない。第 6 章では提案手法をスマートフォンディスプレイの評価に応用する。非線形超解像搭載端末を含む複数のスマートフォンディスプレイの解像度の画質を比較し、非線形超解像搭載スマートフォンの解像度向上効果を検証する。

## 第7章 結論

撮像デバイスとエリアシングの関係性について解析し、再構成超解像の理論的な限界を示した。主観評価実験を行い、再構成超解像搭載テレビの定量的な画質性能を明らかにした。これにより再構成超解像の有効性について、理論と実験により証明した。

提案した主観評価法は、アルゴリズムの異なる複数の機種種のテレビ、スマートフォンの性能を評価可能であり、製品比較に有用である。本論文で行ったいずれの実験結果からも有意差が検出されており、再現性の高い評価が可能であった。本研究の評価結果は、より高画質なディスプレイ製品を購入したいという消費者の要求を満たすことに役立つ。